

石子级配对混凝土工作性的影响

林金华¹ 段岳强¹ 刘永森² 王瑞攀³ 何富强⁴ 陈昌萍⁴ 王晨飞^{4 5}

(1. 中交一公局厦门工程有限公司 福建厦门 361000; 2. 厦门轨道交通集团有限公司 福建厦门 361000;
3. 厦门大学 福建厦门 361005; 4. 厦门理工学院 福建厦门 361024;
5. 重大工程结构裂缝控制福建省高校工程研究中心 福建厦门 361024)

摘 要: 基于研究石子级配对混凝土工作性的影响,对混料设计方法设计了 10 组三级配石子混凝土配合比,测试了不同石子级配的混凝土的坍落度和扩展度,并对测试结果进行优化。结果表明:石子级配对混凝土工作性有重要影响,良好的石子级配可有效改善混凝土的工作性。采用混料设计的方法设计的混凝土配合比,可在尽量少实验量的基础上快速有效得到满足工作性要求的石子比例。

关键词: 石子级配;混凝土工作性;混凝土配合比;坍落度;扩展度

中图分类号: TU528.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-6135(2019)08-0105-04

Effect of stone gradation on concrete workability

LIN Jinhua¹ DUAN Yueqiang¹ LIU Yongmiao² WANG Ruipan³ HE Fuqiang⁴ CHEN Changping⁴ WANG Chenfei^{4 5}

(1. Xiamen Rail Transit Group Co. Ltd., Xiamen 361000; 2. CCCC First Highway Xiamen Engineering Co. Ltd., Xiamen 361000;
3. Xiamen University, Xiamen 361005; 4. Xiamen University of Technology, Xiamen 361024;
5. Fujian University Engineering Technology Research Center of Structural Crack Control for Major Project, Xiamen 361024)

Abstract: In this study, 10 sets of three-grade stone concrete mix ratio were designed by mixing design method based on the study of the influence of stone gradation on the workability of concrete. The slump and slump flow of the concrete with different stone grades were tested and the test results were optimized. The results showed that that stone gradation has an important influence on the workability of concrete, and good stone gradation can effectively improve the workability of concrete. The mix proportion of concrete designed by mix design method can quickly and effectively obtain the stone proportion that meets the workability requirement on the basis of as little experimental amount as possible.

Keywords: Stone gradation; Concrete workability; Concrete mix ratio; Slump; Slump flow

0 引言

混凝土是由胶凝材料、石子、砂子、水及外加剂经搅拌而成的非匀质混合材料。石子在混凝土中发挥骨架的作用,是混凝土成型的基础,因此石子的性能对混凝土的性能有着重要影响。

近年来,福建地区石子的压碎值、针片状含量及石子级配等均对混凝土的工作性^[1]、强度^[2]、耐久性^[3]及胶凝材料用量有很大影响。《建设用碎石、卵石》(GBT 14685-2011)^[4]中对石子的针片状含量和压碎值均有明确规定,对石子级配也进行了规定,但是范围较为广泛。在规定范围内,石子的空隙率和表

面积均有很大的变化,随之影响了胶凝材料的用量变化。因此,很有必要对石子级配进行研究。

基于此,本文对采用的三级配石子各项指标性能进行测试,并设计了 10 组石子比例,对不同石子级配的混凝土的工作性进行测定,以期用衡量混凝土工作性指标的坍落度和扩展度,对不同石子级配的影响进行表征,为广大研究者提供参考。

1 实验

1.1 实验原材料

水泥:厦门市美益集团生产的 PO42.5 普通硅酸盐水泥;

粉煤灰:赣州后石电厂生产的 II 级粉煤灰;

矿粉:福建省三钢(集团)有限责任公司生产的 S95 级矿渣;水泥、粉煤灰和矿粉的粒径分布如表 1 及图 1 所示。

作者简介:林金华(1986.12-),男,工程师。

E-mail: 68162426@qq.com

收稿日期:2019-03-09

石子: 福建智欣双惠矿业有限公司生产的粒径分别为 5mm ~ 10mm ,10mm ~ 20mm ,16mm ~ 31.5mm 的碎石 ,石子的单粒级配和压碎值均满足要求。石子的各项测试指标如表 2 所示。

砂子: 厦门原福沙业有限公司生产的河砂 ,细度模数为 2.6 ,砂子的各项测试指标如表 3 所示;
减水剂: 厦门科之杰聚羧酸高效减水剂;
水: 自来水。

表 1 水泥、粉煤灰和矿粉的粒径分布

材料	X50	<3 μm	3 – 32 μm	32 – 65 μm	>65 μm	>80 μm
水泥	15.984	17.297	65.030	17.036	0.637	0
粉煤灰	13.310	25.798	52.594	18.033	3.575	1.726
矿粉	11.370	22.878	71.272	5.850	0	0

表 2 石子的性能指标测试结果

石子粒径 (mm)	含泥量 (%)	泥块含量 (%)	针片状含量 (%)	压碎值 (%)	表观密度 (kg/m^3)	松散堆积密度 (kg/m^3)	紧密堆积密度 (kg/m^3)	堆积密度孔隙 率(%)	紧密密度孔隙 率(%)
16 ~ 31.5	0.21	0.22	1.70	10.6	2650.0	1386.4	1562.3	47.7	41.0
10 ~ 20	0.31	0.23	1.90	5.8	2792.0	1527.4	1646.1	45.3	41.0
5 ~ 10	0.62	0.48	1.80	—	2764.3	1531.4	1627.1	44.6	41.1

表 3 砂子的性能指标测试结果

砂子测试指标		砂子筛分结果						
		公称粒径 (mm)	第一组			第二组		
			筛余量 (g)	分计筛 (%)	实测累计 筛余(%)	筛余量 (g)	分计筛 (%)	实测累计 筛余(%)
含泥量(%)	0.8							
泥块含量(%)	0.20	5	0	0	0	2	0.4	0.4
表观密度(kg/m^3)	2421.3	2.5	38	7.6	7.6	42	8.4	8.8
松散堆积密度(kg/m^3)	1491.1	1.25	66	13.2	20.8	68	13.6	22.4
紧密堆积密度(kg/m^3)	1634.7	0.63	150	30	50.8	147	29.4	51.8
松散堆积密度孔隙率(%)	38.4	0.315	151	30.2	81	147	29.4	81.2
紧密堆积密度孔隙率(%)	32.5	0.16	76	15.2	96.2	74	14.8	96
氯离子含量(%)	0.002	筛底	19	3.8	100	20	4	100
吸水率(%)	0.73	细度模数	2.56	2.59				

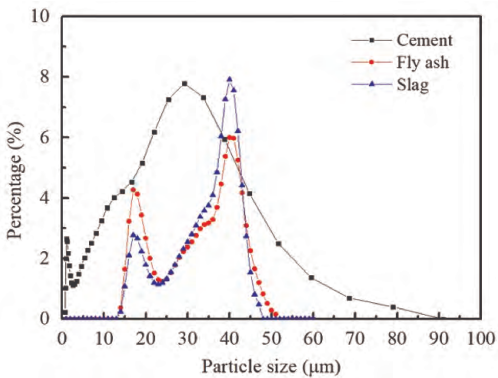


图 1 水泥、粉煤灰和矿粉的粒径分布图

1.2 实验配合比设计

实验配制 C35 等级混凝土 ,基于《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55 – 2011) [5] ,计算初步确定采

用水胶比为 0.36 ,胶凝材料为 $370\text{kg}/\text{m}^3$,其中 ,水泥掺量为胶材总量的 60% ,粉煤灰掺量为胶材总量的 30% ,矿粉掺量为胶材总量的 10% 。经过初步试拌后确定砂率为 0.39 ,采用混料设计法设计得到的 10 组石子三元体系混凝土配合比如表 4 所示。

1.3 试验方法

在实验室中 ,依据设计得到的混凝土配合比称量相应的材料 ,依次将砂子、石子和胶凝材料放于搅拌机 ,搅拌 2min 后 ,将减水剂与水混合加入材料中搅拌 ,每组配比在搅拌机中搅拌 20L 混凝土 ;依据《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T 50080 – 2016) [6] ,测试每组混凝土的坍落度和扩展度 ,每组混凝土搅拌后及时清理搅拌机 ,防止上一组混凝土的砂浆和减水剂对下一组混凝土的配制产生影响。

表 4 混凝土配合比

kg/m³

编号	胶凝材料			砂子	石子			水
	水泥	粉煤灰	矿粉		大石子	中石子	小石子	
1	252.0	126.0	42.0	713.2	446.2	446.2	223.1	151.2
2	252.0	126.0	42.0	713.2	520.6	297.5	297.5	151.2
3	252.0	126.0	42.0	713.2	223.1	669.3	223.1	151.2
4	252.0	126.0	42.0	713.2	223.1	446.2	446.2	151.2
5	252.0	126.0	42.0	713.2	371.9	371.9	371.9	151.2
6	252.0	126.0	42.0	713.2	446.2	223.1	446.2	151.2
7	252.0	126.0	42.0	713.2	297.5	297.5	520.6	151.2
8	252.0	126.0	42.0	713.2	297.5	520.6	297.5	151.2
9	252.0	126.0	42.0	713.2	669.3	223.1	223.1	151.2
10	252.0	126.0	42.0	713.2	223.1	223.1	669.3	151.2

在进行正式实验测试前,先通过实验选定混凝土中减水剂的掺量,以基本保证混凝土均不产生离析和泌水,最终确定减水剂掺量为 1.1%,以此为基础,进行后续混凝土工作性实验。

2 试验结果与分析

实验测得石子三元体系的 10 组混凝土坍落度和扩展度结果如表 5 所示,代表性的混凝土工作性测试如图 2 所示。

表 5 石子三元体系混凝土工作性测试结果

编号	石子比例			坍落度 (mm)	扩展度 (mm)
	大石子	中石子	小石子		
1	0.40	0.40	0.20	190	480
2	0.47	0.27	0.27	195	335
3	0.20	0.60	0.20	105	0
4	0.20	0.40	0.40	190	360
5	0.33	0.33	0.33	190	295
6	0.40	0.20	0.40	180	270
7	0.27	0.27	0.47	195	398
8	0.27	0.47	0.27	180	388
9	0.60	0.20	0.20	155	310
10	0.20	0.20	0.60	55	0



图 2 混凝土工作性测试

从表 2 可以看出,混凝土中的大石子、中石子和小石子比例对混凝土的工作性有重要影响。

当混凝土中石子级配发生变化时,混凝土的坍落度在 55mm ~ 195mm 之间发生变化,而扩展度也从 0 ~ 480mm 之间波动。这是因为当石子级配不同时,石子的表面积和空隙率不同,造成混凝土中用于填充石子空隙和包裹石子表面的水泥浆体量也不同,最终引起用于润滑的浆体量发生变化,混凝土的工作性随之变化,这也是采用混凝土坍落度和扩展度衡量石子级配的重要原因。

当混凝土的坍落度在 190mm ~ 195mm 之间变化时,其扩展度在 295mm ~ 480mm 之间变化,也即混凝土坍落度相同时,对应的扩展度变化很大。这是由于大中小石子比例的不同,造成石子级配的不同,引起同一组混凝土坍落度和扩展度不匹配。

当混凝土中大石子较多时,石子的骨架作用显著,但是浆体量快速流动,因而扩展度偏大,但此时混凝土状态较差;只有当石子级配合适时,混凝土中的浆体可有效包裹石子,其坍落度和扩展度才有良好的关系,混凝土状态也较好。

对表 1 中的测试结果作三元等值图,如图 3 所示。从图中可以看出,随着小石子和中石子掺量的增多,混凝土坍落度有减少的趋势,当石子比例较为均衡,也即大石子、中石子和小石子的基本相同时,混凝土的坍落度达到最大。

对上述实验结果进行回归分析,以研究混凝土坍落度与石子级配之间的关系。设定混凝土坍落度为 y ,大石子掺量为 x_1 ,中石子为 x_2 ,小石子为 x_3 ,建立 y 与 x_1 x_2 x_3 之间的关系如下^[7]:

$$y = - 409x_1 - 709x_2 - 909x_3 + 2713x_1x_2 + 3203x_1x_3 + 4077x_2x_3 - 6287x_1x_2x_3$$

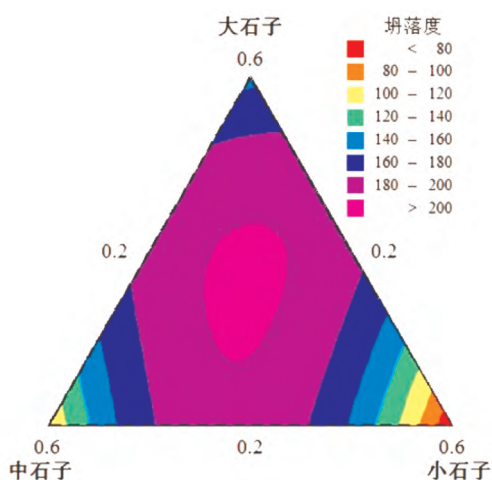


图3 不同石子级配混凝土坍落度等值线图 (mm)

$$R - Sq(\text{调整}) = 84.80\%$$

从上式可以看出,混凝土坍落度与大、中、小石子的掺量有良好的非线性关系,其拟合参数达到了84.8%。

为进一步得到最优的石子比例关系,对表5中的测试结果进行相应优化。当设定混凝土坍落度为200mm时,解上述关系式,可得到大石子、中石子和小石子的比例为0.36:0.33:0.31,也即在混凝土坍落度为200mm时,此石子比例为最优比例,如图4所示。

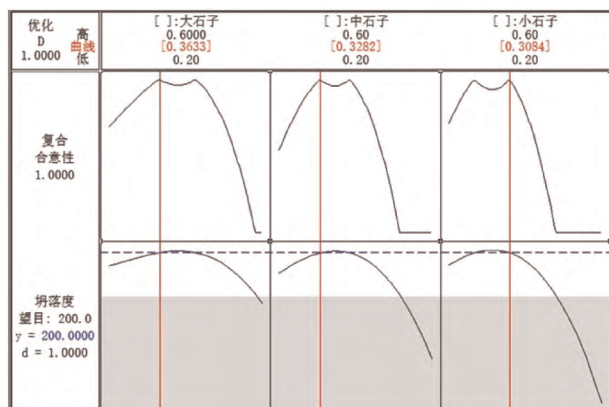


图4 混凝土工作性回归分析

采用计算求得的最优石子级配(大石子:中石子:小石子=0.36:0.33:0.31),进行混凝土配合比设计,除石子级配外,其他混凝土配合比参数均与石子三元体系设计时相同,并进行混凝土试拌试验,测得混凝土的坍落度为205mm。这也与优化后的结果基本相同,证实了响应优化的可靠性。

3 结论

(1) 混凝土中石子级配级配混凝土的工作性有重要影响,因此要加强石子级配混凝土工作性的研究。

(2) 测试基于设计级配得到的混凝土的工作性指标,可在尽量少实验量的基础上快速有效得到满足工作性要求的石子比例。

(3) 实验过程中分别采用坍落度和扩展度对混凝土的工作性进行衡量,是现在混凝土实验的重要指标,但是单独采用各个指标衡量还有失偏颇,能否考虑将两者进行综合考虑是下一步研究的重点。

参考文献

- [1] 丁吉臣,郝占龙,郝家欣.矿渣粉对混凝土和易性及强度影响的研究[J].福建建筑,2009(12):16-17.
- [2] 刘信奎.石子压碎指标之新认识[J].科技资讯,2010(29):23-26.
- [3] 黄艳平,李阳,赵江,等.石子在混凝土中的应用及影响[J].混凝土世界,2017(05):82-87.
- [4] GB/T 14685-2011 建设用碎石、卵石[S].2011.
- [5] JGJ55-2011 普通混凝土配合比设计规程[S].2011.
- [6] GB/T 50080-2016 普通混凝土拌合物性能试验方法标准[S].2016.
- [7] X. Hu, C. Shi, Z. Shi, B. Tong, D. Wang, Early age shrinkage and heat of hydration of cement-fly ash-slag ternary blends [J]. Construction and Building Materials, 2017, 153: 857-865.